

СЕЙСМИЧНОСТЬ РАЙОНА ВУЛКАНА ПЛОСКИЙ ТОЛБАЧИК В 2000-2013 ГГ.

*Сенюков С.Л., Нуждина И.Н., Дрознина С.Я., Гарбузова В.Т., Кожевникова Т.Ю.,
Соболевская О.В., Назарова З.А.*

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г.Петропавловск-Камчатский, ssl@emsd.ru

Введение. Действующий вулкан Плоский Толбачик (далее Пл.Толбачик) вместе с потухшим Острым Толбачиком расположены в южной части Ключевской группы вулканов [2]. Большое трещинное Толбачинское извержение (БТТИ) произошло в юго-западном секторе вулкана Пл.Толбачик в 1975-76 гг. Оно было успешно предсказано в рамках краткосрочного прогноза благодаря тому, что предвлялось мощной сейсмической подготовкой [5]. В течение 10 дней накануне извержения было локализовано 200 землетрясений с классом $K_s=7.5\div 11.5$. Причем самые сильные события произошли в начале роя. Камчатский филиал Геофизической службы (КФ ГС) РАН начал ежедневный мониторинг сейсмичности этого района с представлением результатов в Интернете в 2000 г. В отличие от БТТИ сейсмичность, предвлявшая новое Трещинное Толбачинское извержение (ТТИ) им. 50-летия Института вулканологии и сейсмологии (ИВиС), была относительно слабой. Энергия землетрясений не превышала класс 6.5 [7]. Гипоцентры землетрясений были сосредоточены главным образом под постройкой вулкана в юго-восточном секторе. Частота событий стала постепенно увеличиваться в сентябре 2012 г, и резко выросла накануне извержения. Новое мощное эксплозивно-эффузивное ТТИ началось примерно в 05 ч 15 мин UTC 27 ноября 2012 г. между вершиной Плоского Толбачика и Северным прорывом БТТИ. В статье будут приведены результаты сейсмического мониторинга, полученные в режиме реального времени.

Сейсмологические наблюдения и результаты. В работе [8] приводятся сведения о развитии сети сейсмологических наблюдений КФ ГС РАН на Камчатке. На рис.1 представлена карта района вулкана Пл.Толбачик с сейсмическими станциями. Лаборатория исследований сейсмической и вулканической активности (ИСВА) (до 2001 г. – подразделение отдела Радиотелеметрических сейсмических станций (РТСС)) начала обрабатывать все возможные землетрясения в вулканических районах в режиме, близком к реальному времени, и представлять результаты в Интернете в 2000 г. [4] <http://www.emsd.ru/~ssl/monitoring/main.htm>. В связи с тем, что новое извержение могло произойти в любом месте района вулкана Пл.Толбачик, при мониторинге изучался большой район – круг с центром вблизи Северного прорыва БТТИ и радиусом 20 км, включающий как Плоский Толбачик, так и Северный и Южный прорывы БТТИ. Исходя из опыта сейсмологических наблюдений перед извержением БТТИ-1975 [6], для этого района был определен уровень «повышенной» сейсмичности, когда число локализованных за сутки землетрясений $N \geq 5$ с классом $K_s \geq 4.0$, или $N \geq 2$ с $K_s \geq 5.0$, или $N \geq 1$ с $K_s \geq 6.0$. Для общего числа поверхностных землетрясений в постройке (3 тип + 4 тип + низкочастотные серии [1,6]) граница «нормальной» сейсмичности равна 50.

Согласно принятому «нормальному» уровню, «повышенная» сейсмичность в районе вулкана Пл.Толбачик с февраля 2000 г. до сентября 2012 г. наблюдалась в виде серий поверхностных событий и слабого дрожания в следующие дни: 29.11.00, 03.12.00, 29.10.02, 02.11.02, 28.04.04, 11.05.10, 01.06.10, 24.06.10 и 27.11.10. Отдельные события в этих сериях были локализованы и их источники располагались на глубинах 2-4 км под центральным кратером Пл.Толбачика. Возможно, в этом же месте находились и источники серий. Число землетрясений с установленными классами превысило «норму» в следующие дни: 24.11.05, 22.12.07 и 17.07.09. При этом максимальное число событий (4 землетрясения с $K_s=4.0\div 8.0$) было локализовано 22.12.07. Первым сигналом о пробуждении вулкана, согласно принятому понятию уровня «повышенной» сейсмичности, можно условно считать 09 сентября 2012 г., когда было локализовано 6 землетрясений с классами $K_s=4.8\div 8.9$ в исследуемом районе. Карта с эпицентрами землетрясений, проекция гипоцентров на вертикальную плоскость и графики распределения во времени различных параметров землетрясений для периода 2000 - 2012 гг. представлены на рис.1А-Е. На этих графиках до осени 2012 г. не наблюдалось каких-либо аномалий в сейсмичности. Следующие сутки «повышенной» сейсмичности были зафиксированы уже только в ноябре 2012 г. (10, 12,13,17, 25 и 26) и они были приурочены к постройке Пл.Толбачика. Для очагов этих землетрясений, выделенных кругом радиусом 8 км с центром в кратере вулкана на рис.1А, построены дополнительно графики на рис. 1 Ж-К, показывающие усиление сейсмичности перед извержением.

Сообщение об интенсивном рое землетрясений под постройкой вулкана (рис.2Б-В) было передано по электронной почте 27 ноября в 02:18 UTC (местное время=UTC+12 час) в соответствии с регламентом председателю Камчатского филиала Российского экспертного совета, группе KVERT (Институт вулканологии и Сейсмологии ДВО РАН), Аляскинской вулканологической обсерватории, в Токио VAAC и т.д.: «Рой землетрясений под вулканом Плоский Толбачик: 26 ноября зафиксировано 65 землетрясений с локальной магнитудой от 1 до 2.25 ($K_s=3.5\div 6.0$) на глубинах от -1 до +5 км от уровня моря. С уважением, Сеньюков С.Л.»

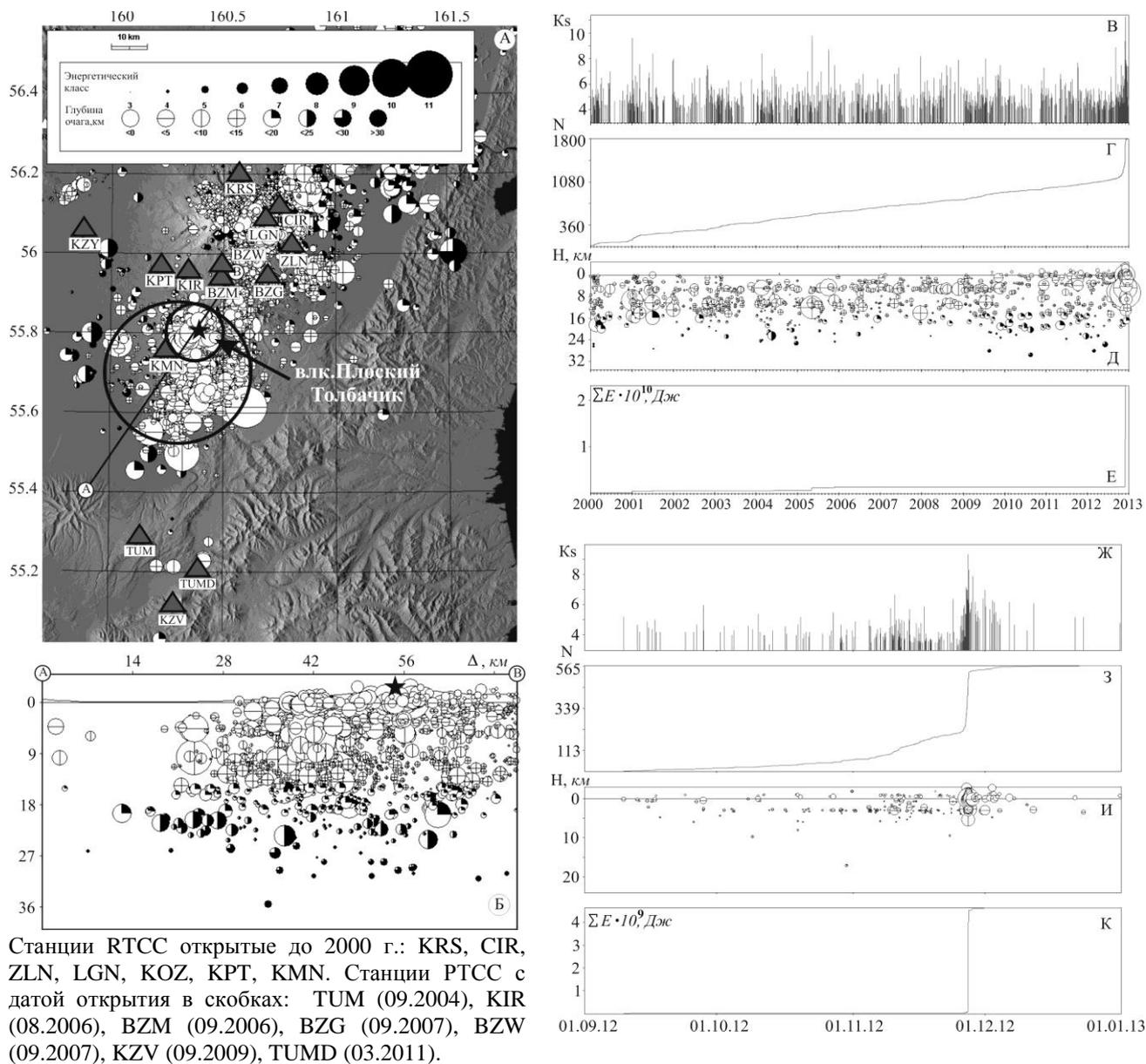


Рис.1 Карта с эпицентрами землетрясений за период с 2000 г. по 01.08.2013 г. (А) и проекция гипоцентров на вертикальную плоскость, проходящую через линию А-В (Б). Радиусы областей выборки землетрясений 20 км и 8 км. Графики распределения во времени различных параметров землетрясений для периода 2000 - 2012 гг., выделенных окружностью с $R=20$ км (В-Е) и с $R=8$ км (Ж-К): энергетический класс по S-волне (В, Ж); кумулятивное количество землетрясений (Г, З); глубина гипоцентров (Д, И); кумулятивная энергия (Е, К).

Первое сообщение о начале извержения было передано 27 ноября в 05:45 UTC согласно регламенту: «По сейсмическим данным 27 ноября в 05:15 UTC началось извержение вулкана Пл.Толбачик. Вулкан закрыт. Нет видео и спутниковых данных. Нет опыта регистрации извержений вулкана Пл.Толбачик. С уважением, Сеньюков С.Л.»

Второе сообщение о возможном пепловом выбросе при извержении ТТИ было выслано 27 ноября в 06:20 UTC: «По сейсмическим данным с использованием опыта регистрации пепловых

эксплозий вулкана Безымянный, возможный пепловый выброс высотой 6 км над уровнем моря произошел 27 ноября в 05:52 UTC. Вулкан закрыт. Нет видео и спутниковых данных. С уважением, Соболевская О.В.» С опытом выделения и оценкой высоты пепловых выбросов по сейсмическим данным можно ознакомиться в работе [9].

Первое визуальное подтверждение о начале ТТИ сообщили сотрудники сейсмостанции «Козыревск» (Н.С. и Ю.Н. Рагунович) в 10:00 UTC. Несмотря на мокрый снег и ветер, они выехали на машине в сторону переправы на 168 км трассы Мильково-Усть-Камчатск и увидели пепловые выбросы и свечение над кратером Пл.Толбачика в разрывах между облаками. Получив эту информацию по телефону, Соболевская О.В. как дежурный сотрудник, также, несмотря на метель с мокрым снегом и то, что рабочий день давно закончился, с большим трудом добралась до работы и выслала полученную информацию согласно регламенту в 10:45 UTC. При этом она добавила информацию об усилении извержения и возможных пепловых выбросах до высоты 10 км.

На рис.2 представлены суточные сейсмограммы по станции КРТ с отмеченными событиями.

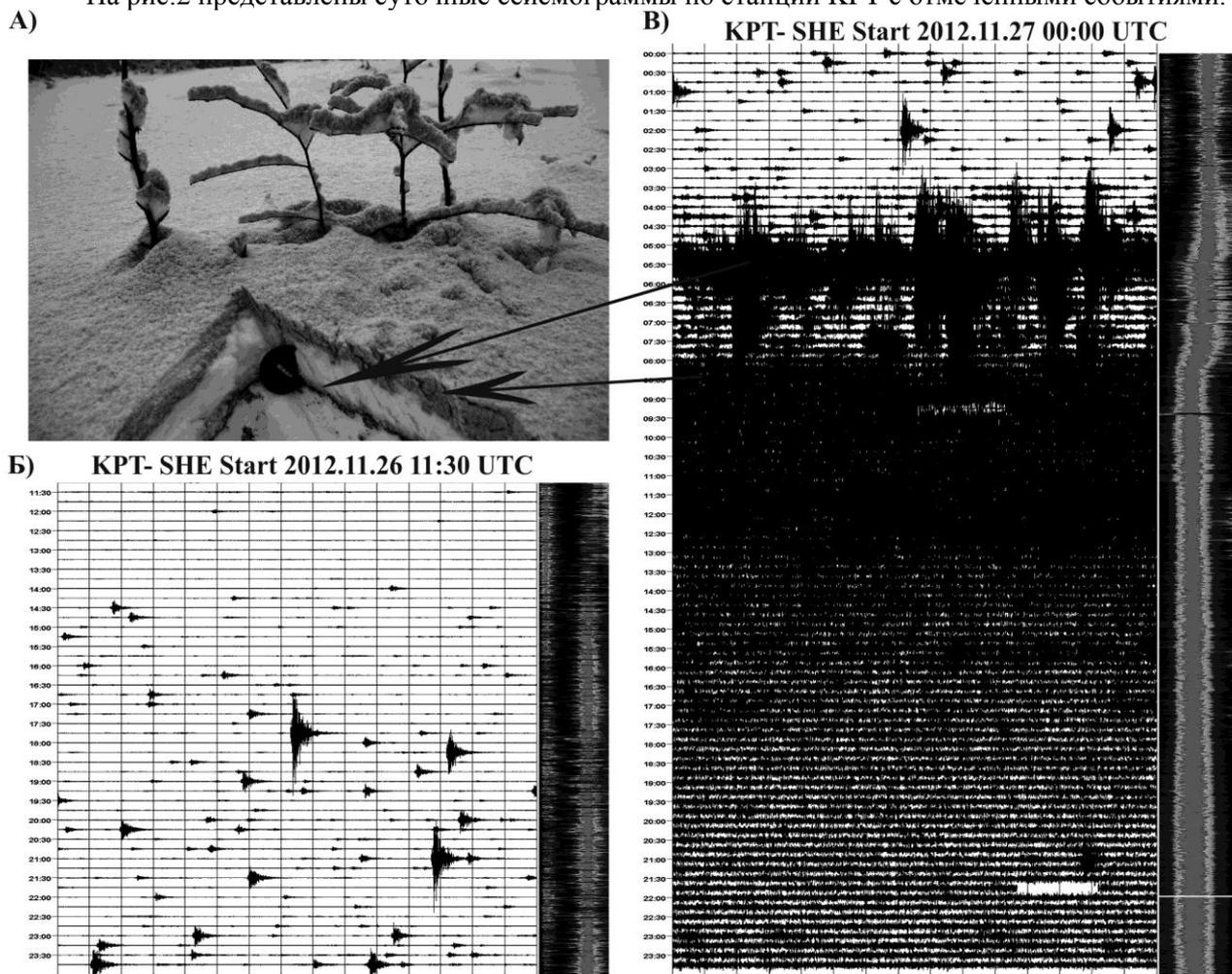


Рис.2 А) – фотография разреза снега со свежавывавшим пеплом в районе с.Майское, диаметр крышки от фотоаппарата – 8 см, автор –Ю.В. Демянчук (ИВиС ДВО РАН); Б) и В) сейсмограммы сейсмостанции «КРТ», показывающие сейсмичность накануне и в начале извержения, справа от сейсмограмм временные спектрограммы, показывающие изменение преобладающей частоты (серый цвет) от 0 до 20 Гц («0» -слева, шкала нелинейная).

Ответственные службы в Токио и Анкоридже пытались обнаружить по своим наблюдениям какие-либо данные о начавшемся извержении, но снег с ветром не давали такой возможности. На следующий день поступила информация о выпадении пепла в населенных пунктах Майское и Красный Яр мощностью до 4 см. Эти поселки расположены примерно в 50-60 км на северо-запад от вулкана Пл.Толбачик. В поселках Ключи и Козыревск был слышен постоянный гул со стороны вулкана. Настоящим шоком для всех были фотоматериалы Демянчука Ю.В. (ИВиС ДВО РАН), которые он прислал 29 ноября утром. Благодаря осмотру на своей машине трассы Ключи-Козыревск, он обнаружил место наибольшего выпадения свежего пепла (район с.Майское) и сфотографировал

разрез снега (рис.2А). На фотографии отчетливо видно два слоя пепла, разделенных чистым снегом. Это факт может быть доказательством правильной интерпретации данных сейсмологического мониторинга об эксплозивном характере начала ТТИ и наличием паузы между ~06 ч и ~08 ч UTC 27 ноября.

Особое внимание следует обратить на развитие сейсмичности непосредственно в начале извержения, так как эта информация важна для создания модели подготовки и механизма извержения. Следует отметить, что обработка этих землетрясений была сделана только в последующие дни, и на момент извержения информация обо всех параметрах этих событий была неизвестна. Впервые такие карты с эпицентрами были показаны на вулканологическом семинаре ИВиС в конце января 2013 г. Описание лучше начать с последней (рис.3Г). На этой карте большинство эпицентров располагается на месте нового извержения. Это может свидетельствовать о достаточно хорошей абсолютной точности определения положений эпицентров землетрясений. На рис.3А представлены эпицентры до начала извержения. Все они приурочены к зоне внедрения нового магматического материала, протянувшейся от кратера Плоского Толбачика на юго-восток. На второй карте Б) показаны эпицентры, которые мы связали с началом извержения в режиме реального времени по таким признакам, как снижение преобладающей частоты относительно предыдущих событий, резкое увеличение энергии с ~5 класса до 7.0-8.5 и большую плотность событий (каждое следующее начиналось на «хвосте» предыдущего). Эпицентры этих землетрясений расположились вокруг кратера вулкана по его периметру. Такое расположение могло свидетельствовать о вздымании постройки и ее растрескивании. Потом наступила небольшая пауза, примерно с 6 ч до 7 ч, после которой эпицентры сместились на место нового извержения. Примерно с 08 ч UTC сейсмические события слились в мощное непрерывное вулканическое дрожание, которое регистрировалось до 23 августа 2013 г (рис.4). После 23 августа амплитуда дрожания резко упала до нуля и в последствие несколько выросла с 29 августа по 01 сентября 2013 г. (дата написания статьи).

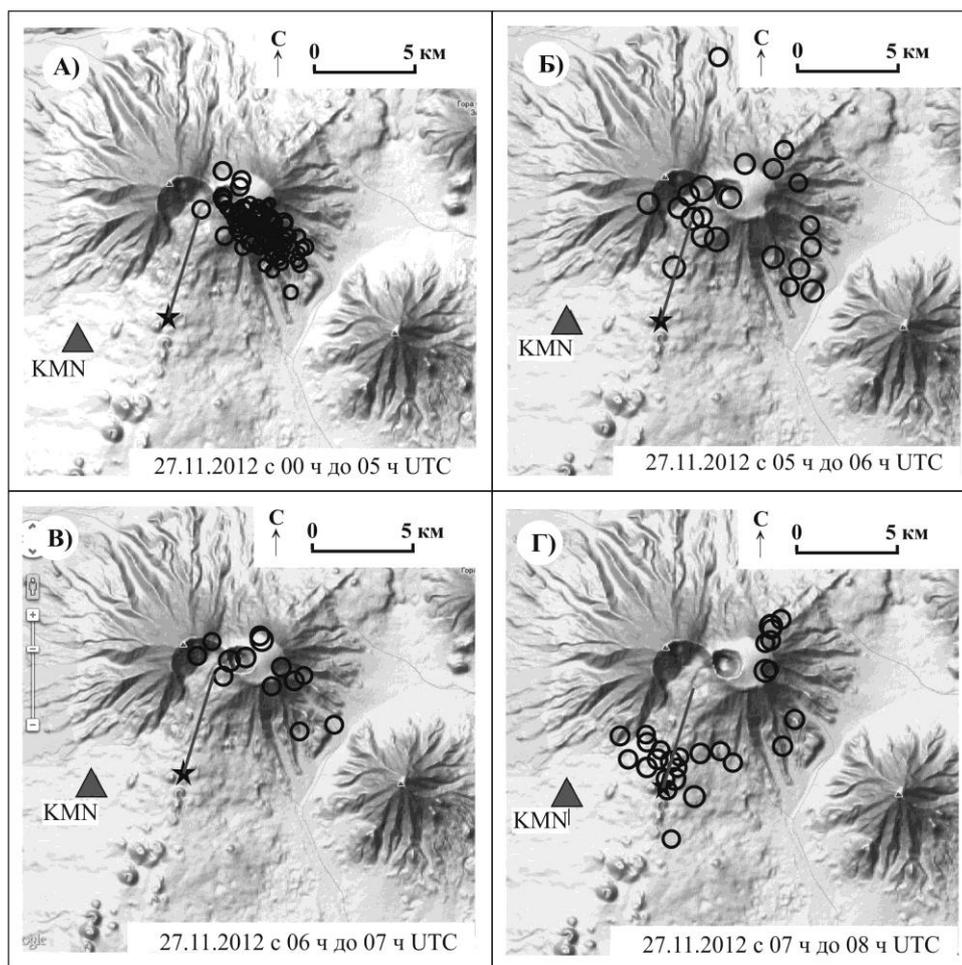


Рис.3 Карты с эпицентрами землетрясений, локализованными в указанные на картах промежутки времени. Толстой линией обозначена радиальная трещина, вдоль которой расположены центры извержения [3]. Звездой обозначен конус Красный – самый мощный нижний эруптивный центр.

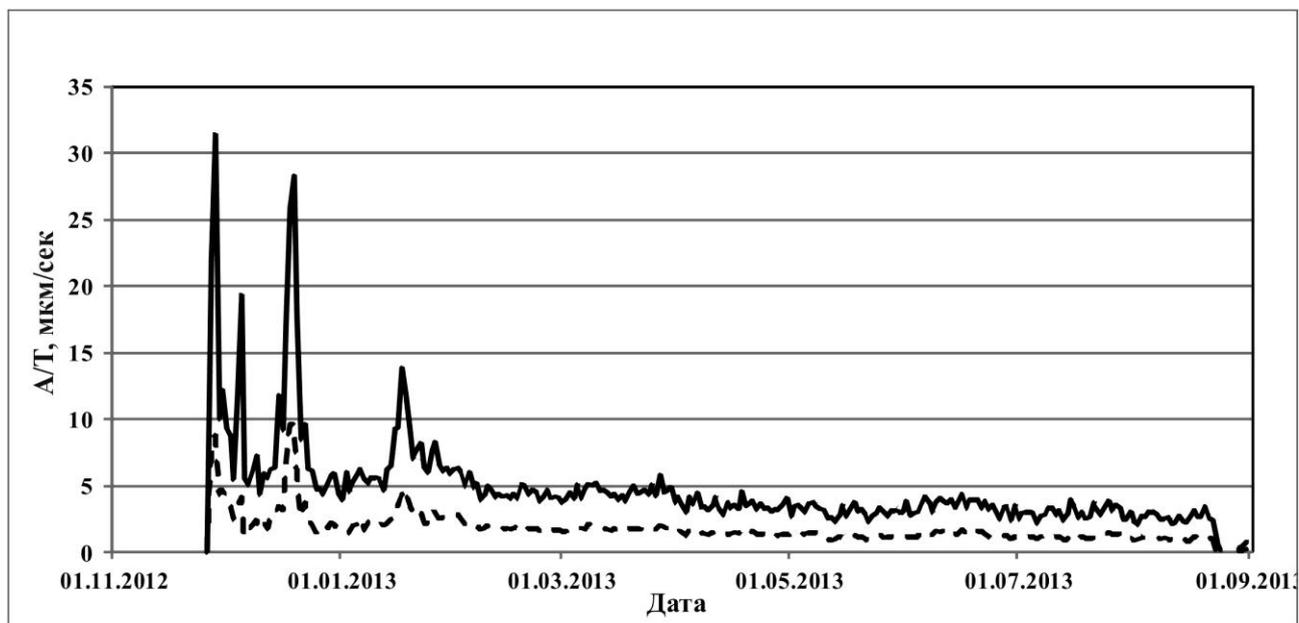


Рис. 4 Графики изменения вулканического дрожания по станции KMN с 01 ноября 2012 г. по 01 сентября 2013 г.: сплошная линия – А/Т максимальное, прерывистая линия - А/Т среднее.

Заключение.

В отличие от БТТИ сейсмичность, предвещающая новое ТТИ, была относительно слабой и была сосредоточена под постройкой вулкана Пл.Толбачик в юго-восточном секторе на глубинах 0-5 км от уровня моря. Частота событий резко выросла накануне извержения. Новое мощное эксплозивно-эффузивное ТТИ началось примерно в 05 ч 15 мин UTC 27 ноября 2012 г. между вершиной Плоского Толбачика и Северным прорывом БТТИ. Все первые выводы о начале и характере извержения ТТИ были сделаны только по сейсмологическим данным. Из-за неблагоприятных погодных условий долго не было возможности получить доказательства нового извержения по каким-либо другим видам наблюдений. Когда они стали доступны, то все выводы, сделанные по сейсмологическим данным, в целом подтвердились.

Новое ТТИ в ареальной зоне вулкана Пл.Толбачик показало: (1) необходимость пересмотра критериев основанных на сейсмологических наблюдениях характеризующих активизацию вулканической деятельности в этом районе; (2) необходимость создания в этом районе новых сейсмических станций.

Список литературы

1. Гарбузова В.Т., Соболевская О.В. Обновленная классификации вулканических землетрясений Камчатки П.И. Токарева // Вторая региональная научно-техническая конференция 11-17 октября 2009 г. Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Второй региональной научно-технической конференции. 2010 С. 25-29.
2. Двигало В.Н., Федотов С.А., Чирков А.М. Вулкан Плоский Толбачик // Действующие вулканы Камчатки. М.: Наука, 1991. Т. 1. С. 200-213.
3. Самойленко С.Б., Мельников Д.В., Магуськин М.А., Овсянников А.А. Начало Трещинного Толбачинского извержения в 2012 г. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2012. №2. С. 20-22.
4. Сеньюков С.Л. Мониторинг активности вулканов Камчатки дистанционными средствами наблюдений в 2000-2004 гг // Вулканология и сейсмология. 2006. № 3. С. 68-78.
5. Токарев П.И. Предсказание места и времени начала большого Толбачинского извержения в июле 1975 г. // ДАН СССР. 1976. Т.229. №2. С. 439-442.
6. Токарев П.И. Вулканические землетрясения Камчатки. М.:Наука, 1981. 164 с.
7. Федотов С.А. Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. М.: Наука, 1972. 117 с.
8. Чебров В.Н., Дрознин Д.В., Кугаенко Ю.А., Левина В.И., Сеньюков С.Л., Сергеев В.А., Шевченко Ю.В., Яшук В.В. Система детальных сейсмологических наблюдений на Камчатке в 2011 г // Вулканология и сейсмология. 2013. № 1. С. 18–40.
9. Senyukov S.L., Droznina S.Ya., Kozhevnikova T.Yu. Experience of the detection of ash plume and estimation its height using local seismicity for Kamchatkan volcanoes during 2003-2011 (Kamchatka Peninsula, Russia) // Complex monitoring of volcanic activity: methods and results, New York: Nova Science Publishers, Inc., 2013, p.35-52.